

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
"Казанский государственный архитектурно-строительный
университет"**

Кафедра физики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО
ФИЗИКЕ**
для студентов всех специальностей

Лабораторная работа № 46
Эмиссионные явления и их применение.

Казань
2012

УДК 539.584

Составитель Потапова Л. И.

Под редакцией В. В. Алексеева, Л.И Маклакова.

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех специальностей.

Лабораторная работа № 46. Эмиссионные явления и их применение. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Составитель: Потапова Л. И. (под редакцией В. В. Алексеева, Л.И. Маклакова) Казань 2012 г.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с электронной эмиссией. Дана краткая теория эмиссионных явлений. Описан прибор для снятия вольтамперной характеристики вакуумного диода и измерения параметров, необходимых для расчета работы выхода электронов из металла.

Стр. 12, рис. 5, таб. 2.

Рецензент: доцент кафедры автоматике и электротехники архитектурно-строительного университета Тахциди Ю.Н.

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2012 г.

Работа выхода электронов из металла.

Как показывает опыт, свободные электроны при обычных температурах практически не покидают металл. Следовательно, в поверхностном слое металла должно быть задерживающее электрическое поле, препятствующее выходу электронов из металла в окружающий вакуум. *Работа, которую нужно затратить для удаления электрона из металла в вакуум, называется работой выхода.* Укажем вероятные причины появления работы выхода:

Если электрон по какой-то причине удаляется из металла, то в том месте, которое электрон покинул, возникает избыточный положительный заряд и электрон притягивается к индуцированному им самим положительному заряду.

Отдельные электроны, покидая металл, удаляются от него на расстояния порядка атомных и создают тем самым над поверхностью металла «электронное облако», плотность которого быстро убывает с расстоянием. Это облако вместе с наружным слоем положительных ионов решетки образует *двойной электрический слой*, поле которого подобно полю плоского конденсатора. Толщина этого слоя равна нескольким межатомным расстояниям (10^{-10} — 10^{-9} м). Он не создает электрического поля во внешнем пространстве, но препятствует выходу свободных электронов из металла.

Таким образом, электрон при вылете из металла должен преодолеть задерживающее его электрическое поле двойного слоя. Разность потенциалов $\Delta\varphi$ в этом слое, называемая **поверхностным скачком потенциала**, определяется работой выхода (A) электрона из металла:

$$\Delta\varphi = A/e,$$

где e — заряд электрона. Так как вне двойного слоя электрическое поле отсутствует, то потенциал среды равен нулю, а внутри металла потенциал

положителен и равен ϕ . Потенциальная энергия свободного электрона внутри металла равна $-\phi$ и является относительно вакуума отрицательной.

Наименьшая энергия, которую необходимо сообщить электрону для того чтобы удалить его из твердого или жидкого тела в вакуум, называется работой выхода A .

Работа выхода выражается в **электрон-вольтах** (эВ): 1 эВ равен работе, совершаемой силами поля при перемещении элементарного электрического заряда (заряда, равного заряду электрона) при прохождении им разности потенциалов в 1 В. Так как заряд электрона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, то $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Работа выхода зависит от химической природы металлов и от чистоты их поверхности и колеблется в пределах нескольких электрон-вольт (например, у калия $A = 2,2$ эВ, у платины $A = 6,3$ эВ). Подобранным образом покрытие поверхности, можно значительно уменьшить работу выхода. Например, если нанести на поверхность вольфрама ($A = 4,5$ эВ) слой оксида щелочно-земельного металла (Ca, Sr, Ba), то работа выхода снижается до 2 эВ.

Эмиссионные явления.

Если сообщить электронам в металлах энергию, необходимую для преодоления работы выхода, то часть электронов может покинуть металл, в результате чего наблюдается явление испускания электронов, или электронной эмиссии. В зависимости от способа сообщения электронам энергии различают термоэлектронную, фотоэлектронную, вторичную электронную и автоэлектронную эмиссии.

1. Термоэлектронная эмиссия — это испускание электронов нагретыми металлами. Концентрация свободных электронов в металлах достаточно высока, поэтому даже при средних температурах вследствие распределения электронов по скоростям (по энергии) некоторые электроны обладают энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера на границе металла. С повышением температуры число электронов, кинетическая энергия теплового движения которых больше работы выхода, растет, и явление термоэлектронной эмиссии становится заметным. Явление термоэлектронной эмиссии используется в приборах, в которых необходимо получить поток электронов в вакууме, например в электронных лампах, рентгеновских трубках, электронных микроскопах и т. д. Электронные лампы широко применяются в электро- и радиотехнике, автоматике и телемеханике для выпрямления переменных токов, усиления электрических сигналов и переменных токов, генерирования электромагнитных колебаний и т. д.

2. Фотоэлектронная эмиссия — это эмиссия электронов из вещества

под действием света, а также коротковолнового электромагнитного излучения (например, рентгеновского).

3. Вторичная электронная эмиссия — это испускание электронов поверхностью металлов, полупроводников или диэлектриков при бомбардировке их пучком электронов. Вторичный электронный поток состоит из электронов, отраженных поверхностью, и «истинно» вторичных электронов — электронов, выбитых из металла, полупроводника или диэлектрика первичными электронами.

4. Автоэлектронная эмиссия — это эмиссия электронов с поверхности металлов под действием сильного внешнего электрического поля. Эти явления можно наблюдать в откачанной трубке, конфигурация электродов которой (катод — острое, анод — внутренняя поверхность трубки) позволяет при напряжениях примерно 10^3 В получать электрические поля напряженностью примерно 10^7 В/м. При постепенном повышении напряжения уже при напряженности поля у поверхности катода примерно $10^5 - 10^6$ В/м возникает слабый ток, обусловленный электронами, испускаемыми катодом. Сила этого тока увеличивается с повышением напряжения на трубке. Токи возникают при холодном катоде, поэтому описанное явление называется также *холодной эмиссией*. Объяснение механизма этого явления возможно лишь на основе квантовой теории.

Физические процессы в электровакуумном диоде.

Исследование закономерностей термоэлектронной эмиссии можно провести с помощью простейшей двухэлектродной лампы — вакуумного диода, представляющего собой откачанный баллон, содержащий два электрода: катод *K* и анод *A*. В простейшем случае катодом служит нить из тугоплавкого металла (например, вольфрама), накаливаемая электрическим током.

С некоторым допущением анод и катод диода можно представить в виде двух параллельных пластин, находящихся на некотором расстоянии друг от друга в вакууме (рис.1).

Электроны, вышедшие из катода, разгоняются за счет кулоновской силы, но «электронное облако», состоящее из электронов, имеет отрицательный потенциал. (Потенциал численно равен потенциальной

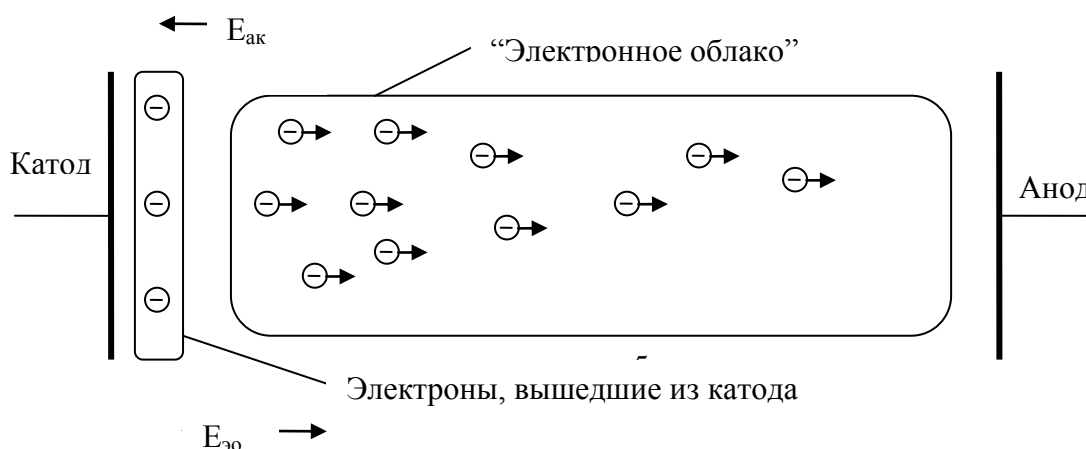


Рис. 1

энергии, которой обладал бы в данной точке поля единичный положительный заряд). Так как «электронное облако» находится в промежутке между катодом и анодом, то он препятствует электронам, излучаемым с поверхности катода, попасть на анод:

$$E = E_{\text{ак}} - E_{\text{эо}},$$

Тогда

$$F = -eE,$$

где E – напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке вблизи катода с учетом экранирующего действия «электронного облака»;

$E_{\text{эо}}$ – напряженность электрического поля, создаваемая «электронным облаком»;

$E_{\text{эк}}$ – напряженность электрического поля в любой точки пространства между анодом и катодом;

F – кулоновская сила, действующая на электрон вблизи катода.

Электроны, преодолевшие потенциальный барьер, попадают в ускоряющее электрическое поле.

Пусть диод D включен в цепь, изображенную на рис. 2. В этой цепи для измерения напряжения на диоде включен вольтметр V , для измерения тока – амперметр mA . Напряжение на диод подается от батареи B_a , катод K нагревается электрическим током от батареи B_n . С помощью потенциометров R и R_n можно изменить напряжения на аноде и катоде, соответственно. При нагревании катода и подаче на анод положительного напряжения (относительно катода) в анодной цепи диода возникает ток. Если поменять полярность батареи B_a , то ток прекращается, как бы сильно катод ни нагревали. Следовательно, катод испускает отрицательные частицы — электроны.

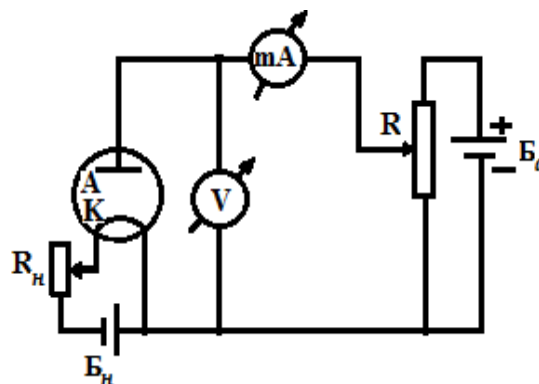


Рис. 2

Если поддерживать температуру накаливаемого катода постоянной и снять зависимость анодного тока I_a от анодного напряжения U_a — вольтамперную характеристику (рис. 3), то оказывается, что она не является линейной, т. е. для вакуумного диода закон Ома не выполняется. Зависимость термоэлектронного тока I от анодного напряжения в области малых положительных значений U описывается законом трех вторых (установлен русским физиком С. А. Богуславским (1883—1923) и

американским физиком И. Ленгмюром (1881—1957)):

$$I = BU^{3/2}, \quad (2)$$

где B — коэффициент, зависящий от формы и размеров электродов, а также их взаимного расположения.

При увеличении анодного напряжения ток возрастает до некоторого максимального значения $I_{\text{нас}}$, называемого током насыщения. Это означает, что почти все электроны, покидающие катод, достигают анода, поэтому дальнейшее увеличение напряженности поля не может привести к увеличению термоэлектронного тока. Следовательно, плотность тока насыщения характеризует эмиссионную способность материала катода.

Плотность тока насыщения определяется формулой Ричардсона-Дешмана, выведенной теоретически на основе квантовой теории:

$$j_{\text{нас}} = CT^2 e^{-A/(kT)} \quad (3)$$

где A — работа выхода электронов из катода, T — термодинамическая температура, C — постоянная, теоретически одинаковая для всех металлов. Уменьшение работы выхода приводит к резкому увеличению плотности тока насыщения. Поэтому применяются оксидные катоды (например, никель, покрытый оксидом щелочно-земельного металла), работа выхода которых мала и равна 1 — 1,5 эВ.

На рис. 3 представлены вольтамперные характеристики для двух температур катода: T_1 и T_2 , причем $T_2 > T_1$. С повышением температуры катода испускание электронов с катода интенсивнее, при этом увеличивается и ток насыщения. При $U_a = 0$ наблюдается анодный ток, т. е. некоторые электроны, эмитируемые катодом, обладают энергией, достаточной для преодоления работы выхода и достижения анода без приложения электрического поля.

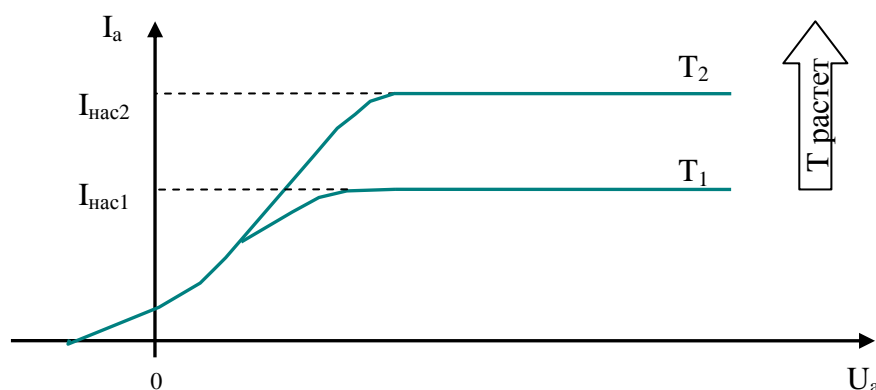


Рис.3

Так как термоэлектрический ток пропорционален плотности тока, т.е.

$$I = aj,$$

тогда

$$\frac{j_{нас1}}{j_{нас2}} = \frac{I_{нас1}}{I_{нас2}} = \frac{CT_1^2 e^{-A/kT_1}}{CT_2^2 e^{-A/kT_2}} \quad (4)$$

Прологарифмировав выражение (4), получаем

$$\ln \frac{I_{нас1}}{I_{нас2}} = \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 - \frac{A}{k} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right). \quad (5)$$

Рабочая формула для расчета работы выхода электронов из металла при термоэлектронной эмиссии имеет вид:

$$A = \frac{kT_1 T_2 \left(2 \ln \frac{T_1}{T_2} - \ln \frac{I_{нас1}}{I_{нас2}} \right)}{T_2 - T_1}. \quad (6)$$

Описание и принцип действия установки.

Прибор предназначен для снятия вольтамперных характеристик вакуумного диода и измерения параметров, необходимых для расчета работы выхода электрона из металла.

1. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА

На рис. 4 изображен стенд лабораторной работы, принципиальная схема которого представлена на рис 2. Стенд обеспечивает электропитание испытуемой лампы типа ЗЦ18П, в нем вырабатываются необходимые напряжения и токи - накала и анода.

Лампа, помещенная в пластмассовый корпус (рис. 5), подключается своим разъемом к гнезду "ЛАМПА".

Напряжение анода задается потенциометром "НАПРЯЖЕНИЕ АНОДА" и измеряется соответствующим вольтметром. Появляющийся при этом ток анода определяется температурой катода, которая зависит от режима - тока и напряжения накала, и измеряется миллиамперметром "ТОК АНОДА".

Ток и напряжение накала задаются потенциометром "НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА" и поочередно измеряются ампервольтметром, для чего служит тумблер "ТОК НАКАЛА - НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА"

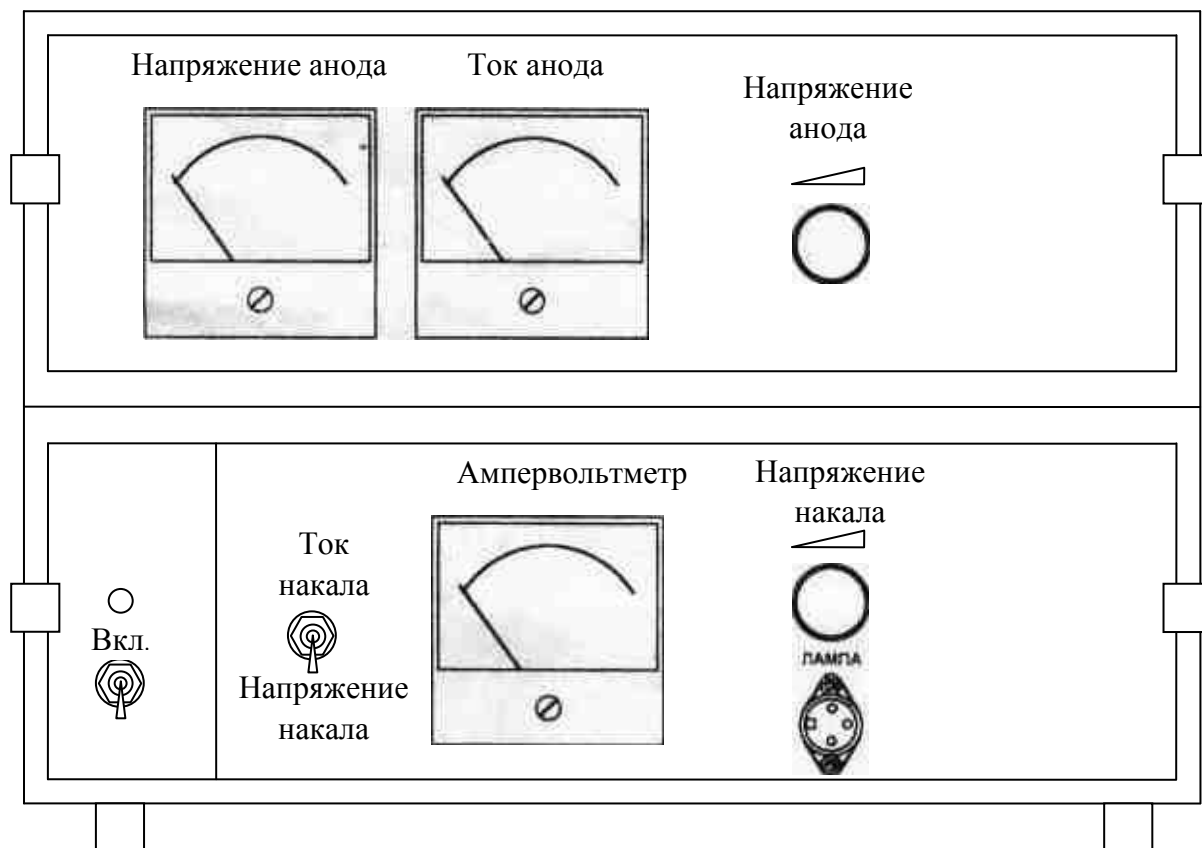


Рис. 4

2. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

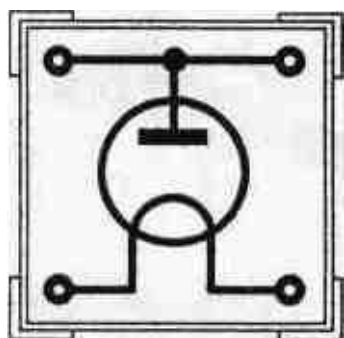


Рис. 5

1. Потенциометры "НАПРЯЖЕНИЕ АНОДА" и "НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА" повернуть против часовой стрелки до упора.

2. В розетку "ЛАМПА" (рис.4) вставьте вилку диода в корпусе (рис. 5).

3. Включить стенд в сеть напряжением 220 В частотой 50 Гц.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Установить напряжение накала $U_{н1} = 1,80\text{В}$.
2. Измерить амперметром ток накала $I_{н1}$. Значения тока и напряжения занести в таблицу 1.
3. Изменяйте анодное напряжение U_a от 7,5В с интервалом 10В. Напряжение увеличивайте до тех пор, пока анодный ток не достигнет насыщения (перестанет изменяться). Записывайте соответствующие значения анодного тока I_a в таблицу 1.
4. Выполнить аналогичные измерения при напряжении накала $U_{н}=2\text{В}$.

Таблица 1.

$U_n=1,80В$		$U_n=2В$	
$I_n= A$		$I_n= A$	
$U_a (В)$	$I_a (А)$	$U_a (В)$	$I_a (А)$

5. Используя данные таблицы 1, постройте две вольтамперные характеристики $I_a = f(U_a)$. Определить по ним величину токов насыщения $I_{нас1}$ и $I_{нас2}$. Результаты записать в таблицу 2.

НЕ ПУТАТЬ ТОКИ НАСЫЩЕНИЯ И ТОКИ НАКАЛА!

Таблица 2.

	$I_{нас}, А$	$T, К$	$A, эВ$
1			
2			

6. По напряжению и току накала определить сопротивление катода в точке перехода лампы в насыщение:

$$R = \frac{U_n}{I_n} \quad (7)$$

7. Вычислить температуру катода T , зная значение сопротивления нити при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$, указанное на корпусе ($R_1 = 6,75\text{ Ом}$), и температурный коэффициент сопротивления вольфрама –

$$\alpha = 4,1 \cdot 10^{-3}\text{ К}^{-1};$$

$$T = \frac{R}{\alpha R_0} \quad (8)$$

Результаты записать в таблицу 2.

8. Работу выхода электрона из металла A определить по формуле (6):

$$A = \frac{kT_1T_2 \left(2 \ln \frac{T_1}{T_2} - \ln \frac{I_{НАС1}}{I_{НАС2}} \right)}{T_2 - T_1}$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж/К}$ - постоянная Больцмана, $T_1, I_{НАС1}$ и $T_2, I_{НАС2}$ значения температуры катода и тока насыщения для двух вольтамперных характеристик. Выразить работу выхода в электрон-вольтах.

$1\text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$. Результаты записать в таблицу 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что называется работой выхода электронов? Причины появления работы выхода.
2. Дайте понятие электронной эмиссии. Какие существуют разновидности эмиссионных явлений? Дайте их определения.
3. Каким образом можно вырвать электроны из холодного катода? Как называется это явление?
4. Процессы в электровакуумном диоде.
5. Каким законом описывается вольтамперная характеристика термоэлектронного тока?
6. Можно ли изменить силу тока насыщения вакуумного диода? Если да, то как.
7. Запишите зависимость плотности тока насыщения от температуры.
8. Выведите рабочую формулу для расчета работы выхода электронов из металла при термоэлектронной эмиссии.

Лабораторная работа № 46
Эмиссионные явления и их применение.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ
для студентов всех специальностей

Составитель: Л.И. Потапова

Редактор Г.А.Рябенкова

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать		Формат 60x84/16
Тираж 200 экз.	Бумага офсетная №1	Усл.печ.л. 0,7
Заказ №	Печать ризографическая	Уч.-изд.л. 0,7

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, Зеленая 1